CZU: 004.42:681.2 **https://doi.org/10.59295/tehfizuvs25.25**

PLATFORMĂ HARDWARE–SOFTWARE PENTRU CONTROLUL INSTRUMENTELOR DIN SERIA KEITHLEY 2400

HARDWARE–SOFTWARE PLATFORM FOR CONTROLLING KEITHLEY 2400 SERIES INSTRUMENTS

Cătălin CRECIUNEL[1] e-mail: catalin.creciunel@cnstm.utm.md ORCID ID: 0009-0008-4898-2556
Cătălin CECHIN[2] e-mail: catalin.cechin@mib.utm.md ORCID ID: 0009-0000-8897-6582
Daniel ȚÎRCHE[3] e-mail: daniel.tirche@mib.utm.md ORCID ID: 0009-0002-0975-766X
Vladimir CIOBANU[4] e-mail: vladimir.ciobanu@cnstm.utm.md ORCID ID: 0000-0002-4588-2866

[1,2,3,4]Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldova

Abstract. *This paper presents the development of a hardware–software platform designed for controlling and monitoring devices from the Keithley 2400 SourceMeter series. The system uses a laboratory-designed hardware adapter based on the ATmega328P microcontroller for serial–parallel conversion and an ESP32-C3 module for managing network communication and transmitting commands according to the GPIB (IEEE-488) protocol. The software platform includes a web interface accessible both locally and remotely through Wi-Fi connectivity and a centralized server. The system implements two access levels—administrator and standard user—allowing configuration of internal parameters, sending GPIB commands, executing tests, and viewing system logs. For secure access, the application employs unique authentication tokens, packet integrity verification, and automatic restriction of unauthorized IP addresses. The application enables measurement reading in multimeter mode, automatic saving to CSV files, real-time graph generation, and communication error diagnostics. Additionally, the system can operate as a programmable source, supporting both potentiostatic and galvanostatic modes, making it suitable for electrochemical applications, automated testing, and remotely controlled experiments. The results confirm the stability of the GPIB communication, the expandability of the platform, and its integration potential within modern laboratory infrastructures.*
Keywords: *ESP32, software interface, GPIB-USB converter, Keithley 2400*

Introducere

Comunicarea cu echipamentele de măsurare de tip SourceMeter, precum seria Keithley 2400, rămâne esențială în numeroase domenii experimentale și industriale. Deși aceste instrumente oferă o precizie ridicată și un grad înalt de flexibilitate, accesul la funcționalitățile lor avansate depinde adesea de utilizarea unor interfețe de comunicație tradiționale, cum ar fi magistrala GPIB. În multe laboratoare, conectarea acestor dispozitive la un calculator se realizează încă prin plăci PCI–GPIB dedicate, o soluție robustă, dar costisitoare, dificil de integrat pe sisteme moderne și incompatibilă cu echipamente mobile.

Pentru a depăși aceste limitări, au fost dezvoltate în timp diverse adaptoare comerciale USB–GPIB, însă acestea rămân în mare parte soluții proprietare, dependente de drivere specifice și de software închis, ceea ce reduce portabilitatea și flexibilitatea utilizatorilor. În plus, mecanismele de control sunt adesea fragmentate între mai multe aplicații sau platforme, îngreunând automatizarea și integrarea cu sisteme personalizate. În acest context, lucrarea de față propune o platformă hardware–software accesibilă pentru controlul instrumentelor Keithley 2400 [1], proiectată astfel încât să permită operarea directă de pe un PC, tabletă sau smartphone, fără necesitatea instalării unor module hardware suplimentare costisitoare.

Prin înlocuirea plăcii PCI–GPIB [2] cu un adaptor USB–GPIB compatibil și prin dezvoltarea unei interfețe web intuitive, soluția oferă o experiență unificată de control și monitorizare, crescând mobilitatea și reducând semnificativ costurile de operare [3]. Aplicațiile unei astfel de platforme sunt variate și se extind de la testarea proprietăților electrice/fotoelectrice ale materialelor, până la procese experimentale ce necesită surse programabile de tensiune sau curent. În unele contexte, cum este și cazul instalațiilor de anodizare sau depunere electrochimică, instrumentele Keithley sunt utilizate pentru generarea și citirea exactă a tensiunilor și curenților necesari proceselor [4 - 7].

Componente hardware-software

Dezvoltarea aplicației a început cu identificarea componentelor electronice, a modului de transmitere a datelor și definirea protocolului de comunicare. Acesta respectă standardul GPIB, permițând compatibilitatea cu mai multe instrumente de laborator. În figura 1 este ilustrată schema conceptuală a sistemului de comunicare. Interfața web este accesibilă prin conexiunea Wi-Fi integrată pe placheta ESP32-C3 (format „super mini", 18,0 × 22,5 mm) [8]. Aceasta asigură și alimentarea întregului ansamblu prin conectorul USB, care furnizează 5,0 V, în timp ce circuitul ME611 generează tensiunea de 3,3 V, necesară modulelor logice. Microcontrolerul ATmega328P funcționează ca convertor serial–paralel, realizând transferul datelor între interfața UART și magistrala GPIB, compusă din liniile de date D1–D8 și liniile de control EOI, SRQ, ATN, REN, IFC, DAV, NRFD, NDAC [9].



Figura 1. Schema de transfer a datelor între microcontrolere și interfața GPIB.

Aplicația web a fost concepută pentru a fi compatibilă cu diverse dispozitive (telefon, tabletă, laptop, PC) [10]. Pagina de control a dispozitivului (figura 2a) permite trimiterea de comenzi către Keithley, testarea răspunsurilor și monitorizarea în timp real a stării conexiunii. În figura 2b este prezentat raportul salvat în format text ce conține ordinea activităților și setările experimentului practic pentru a putea reproduce procesul.



Figura 2. Interfața grafică a aplicației web (UI) pentru controlul și monitorizarea instrumentului Keithley 2400.

Rezultate și Discuții

Pentru elaborarea adaptorului GPIB, a fost realizată o placă cu cablaj imprimat (PCB) dedicată, care integrează microcontrolerele ATmega328P și ESP32-C3, precum și circuitele de conversie de nivel logic (figura 3). Circuitul a fost elaborat în softul Kicad (vers. 9.0) [11]. Acesta a fost proiectat pe două straturi cu trasee de 0,3 mm și Via de 0,6 mm, cu găuri de 0,4 mm. Pe partea verso a fost plasat microcontroler-ul ATmega328 și circuitul de nivel de tensiune. Placheta ESP32 este deja proiectată corespunzător pentru a fi sudată fără găuri, ce permite amplasarea componentelor pe partea verso fără dificultăți.

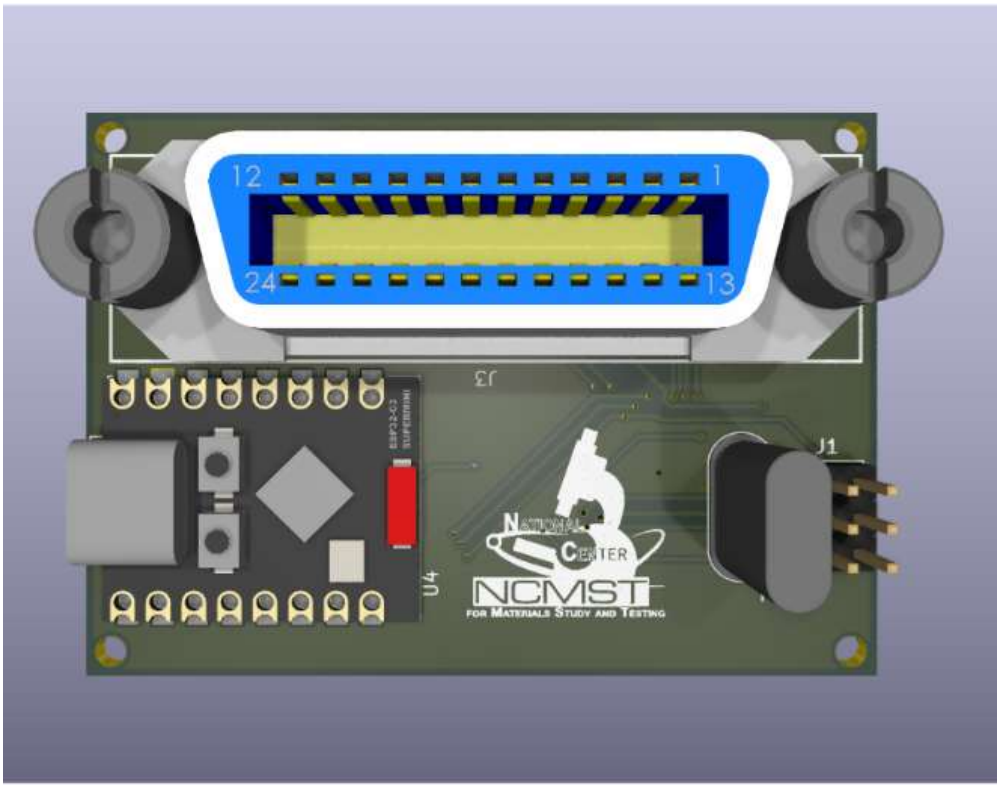


Figura 3. Imaginea circuitului PCB proiectat.

Funcționalitățile sistemului proiectat hardware-software include astfel:

- transmiterea de comenzi standard (setarea limitei de curent, tensiune etc.);
- vizualizarea jurnalului de comunicație și identificarea erorilor;
- salvarea automată a datelor măsurate în format CSV;
- generarea graficelor în timp real;
- Posibilitatea analizei sub formă grafică a datelor deja salvate in format CSV.

Datele sunt reprezentate grafic sub forma unor serii independente, actualizate continuu pe axa timpului (figura 4). Interfața oferă și funcții interactive specifice mediilor web moderne, precum tooltip-uri dinamice care afișează valorile exacte la fiecare punct de măsurare, legenda și posibilitatea de a șterge sau reinițializa graficul. Această reprezentare demonstrează modul în care o consolă web poate fi utilizată ca instrument de monitorizare în timp real, facilitând vizualizarea și analiza rapidă a datelor primite de la Keithley 2400.



Figura 4. Afișarea în timp real a evoluției parametrilor selectați.

Testele experimentale au confirmat funcționalitatea completă a sistemului: conectarea automată la server, trimiterea și recepționarea comenzilor GPIB, înregistrarea datelor și vizualizarea lor grafică.

Soluția propusă a demonstrat stabilitate ridicată în transmisia datelor și o latență medie sub 50 ms, fiind potrivită pentru aplicații de măsurare și control la distanță.

Concluzii

A fost dezvoltată o platformă hardware–software complet funcțională pentru controlul și monitorizarea instrumentelor din seria Keithley 2400.

Platforma propusă permite:

- control local și la distanță prin Wi-Fi;
- comunicare bidirecțională prin protocol MQTT și GPIB;
- salvarea și analiza automată a datelor experimentale.

Prin integrarea microcontrolerelor ATmega328P și ESP32-C3, sistemul oferă o alternativă modernă și economică la interfețele comerciale GPIB, contribuind la modernizarea echipamentelor existente în laboratoarele de cercetare. Ca direcții viitoare, platforma va fi extinsă pentru integrarea și controlul și altor dispozitive de laborator precum cele de la Keithley sau Scientific Instruments, ce permit de asemenea controlul temperaturii în criostat în intervalul 10 – 400 K, cu posibilitatea de a investiga proprietățile electrice sau fotoelectrice a materialelor semiconductoare în special cele nanostructurate. Integrarea acestor funcționalități va transforma platforma într-o soluție completă pentru automatizarea experimentelor complexe, crescând semnificativ flexibilitatea și eficiența cercetărilor.

Referințe:

1. JA'AFARU, S., DOGARA, M.D., ISAAC, H.D., GYUK, P. M., IYEN, C. Comparison between a constructed arduino based system and Keithley SourceMeter 2400 on some electronics devices. In: *Science World Journal*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 55–57, Aug.
2. ISLAM, H., HOSSAIN, F., PAUL, S., FARDOUSI, M. Implimentation of Computer-controlled Electrodeposition methodology for Depositing Metal Oxide Thin Films, 2013.
3. CRECIUNEL, C., CECHIN, C., CIOBANU, V., MONAICO, E. V. Upgrading GPIB Instruments with IoT: A Microcontroller Solution for Local Network Control of the Laboratory Devices. In: *2025 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, June 2025, pp. 1–4. doi: 10.1109/BlackSeaCom65655.2025.11193898.

4. CRECIUNEL, C. Obținerea și studiul straturilor de oxid de zinc prin corodarea electrochimică a foliilor de zinc, presented at the Conferința "Conferinţa tehnico-ştiinţifică a studenţilor, masteranzilor şi doctoranzilor," Chișinău, Moldova, Apr. 2023, pp. 279-283.
5. CIOBANU, V., ENACHI, M., POSTOLACHE,V., TIGINYANU, I. Fabrication of TiO2 nanotubular membranes opened from both ends by electrochemical anodization technique,"*Fizică şi tehnică: procese, modele, experimente*, no. 2, pp. 26–29, 2014, Accessed: Nov. 21, 2025.
6. ENACHI, M. *et al.* Light-Induced Motion of Microengines Based on Microarrays of TiO2 Nanotubes. In: *Small*, vol. 12, no. 39, pp. 5497–5505, 2016, doi: 10.1002/smll.201601680.
7. CIOBANU, V., PLEŞCO, J.I. TiO2 Nanotubes for photocatalytic degradation of methylene blue. In: *Journal of Engineering Sciences*, no. 1, pp. 23–30, 2021.
8. SAURABH, K., TRIPATHI, M.M., MAHAPATRA, S. Low-powered IoT device for monitoring dementia patients using A9G module and ESP32 C3 MCU in cloud environment. In: *International Journal of Grid and Utility Computing*, vol. 16, no. 5–6, pp. 493–504, Jan. 2025, doi: 10.1504/IJGUC.2025.148536.
9. TAHA, L.Y., ABDULLA, W.H. Data acquisition system using the IEEE 488 interface bus. In: *Microprocessors and Microsystems*, vol. 11, no. 9, pp. 493–498, Nov. 1987, doi: 10.1016/0141-9331-(87)90012-3.
10. CRECIUNEL, C., CIOBANU, V., MONAICO, E.V. Remote-controlled temperature setup designed for ZnO nanostructures fabrication. In: *International Colloquium "Physics of Materials" – PM 8*, p. 29, 2024.
11. DANDL, K., TÓTH, K., BITZENBAUER, P. From simulation to experiment: Using KiCad to design electric circuits in the physics classroom. In: *EURASIA J Math Sci Tech Ed*, vol. 20, no. 10, p. em2510, Oct. 2024, doi: 10.29333/ejmste/15176.

Mulțumiri

Această lucrare a fost susținută de subprogramul instituțional nr. 02.04.02 „Dezvoltarea tehnologiilor și investigarea proprietăților compușilor semiconductori stratificați, nanostructurilor hibride și surselor laser" și de proiectul „Tineri cercetători" nr. 24.80012.5007.12TC.